

Contributo para a recuperação de edifícios antigos

(Título antigo: Levantamento das principais patologias em edifícios antigos construídos em materiais naturais)

A. Murta, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

H. Varum, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

J. Pinto, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

Palavras-Chave: sustentabilidade, materiais naturais, materiais económicos, recuperação.

Resumo

Muitos dos edifícios construídos maioritariamente em materiais naturais, no espaço Europeu, revelam falta de manutenção adequada e apresentam por isso um elevado estado de degradação, comprometendo assim a sua integridade e reduzindo o período de vida útil do edifício. Uma das razões principais para este acontecimento é o custo da manutenção.

É comum o aparecimento de patologias até em edifícios recentes. A causa para o aparecimento prematuro de patologias pode-se dever a erros de construção, erros de cálculo, materiais inapropriados ou de má qualidade, entre outros.

É frequente, durante os trabalhos de reabilitação ou reconstrução de edifícios antigos, a demolição parcial, integral ou a substituição de vários dos seus elementos. Pretende-se com este estudo descrever as soluções construtivas frequentemente utilizadas em edifícios nacionais antigos construídos com materiais naturais, especificando os principais problemas que afectam cada componente do edifício e apresentando soluções possíveis para a correcção desses problemas, utilizando sempre que possível, materiais naturais e processos económicos.

O estudo baseia-se nos elementos que compõem o edifício, incluindo paredes resistentes, pavimentos de madeira, elementos de cobertura e materiais de acabamento.

Descrevem-se cronologicamente as sequências de colapsos das estruturas e a ligação causa/efeito às patologias. Estas possibilitarão ainda compreender como melhorar a robustez das estruturas e também a definição de propostas de reforço de estruturas de edifícios tradicionais. O edifício analisado neste estudo pode ser encarado como um modelo experimental de estruturas tradicionais.

Este edifício apresenta como materiais mais comuns o calcário, madeira, argamassa de terra, tijolos cerâmicos maciços e reboco de cal.

É efectuada ainda a identificação/caracterização da composição mineralógica dos materiais recorrendo ao microscópio electrónico e ensaios de raios-X.

Pretende-se por isso analisar a solução arquitectónica, a solução estrutural, os materiais, a identificação de patologias e consequentes soluções para as mesmas, de edifícios antigos no contexto português.

As soluções correctivas apresentadas e estudadas privilegiam a adopção de materiais e técnicas similares e mais compatíveis com as originais.

Abstract

Many of the existing buildings constructed mostly with natural raw materials, in European sites, are frequently lacking proper maintenance and, therefore, a high degree of degradation is verified in these buildings compromising their integrity and reducing their lifetime probability. One of the main reasons is the maintenance cost.

It is common the occurrence of pathologies even in recent buildings. The causes of those pathologies could be construction errors, design errors, inappropriate materials or poor quality, among others.

Often in the rehabilitation or reconstruction of old buildings the solution adopted is the partial or integral demolition and substitution of several building components. The aims of this study are to describe the most common constructive solutions in Portuguese buildings constructed with raw natural materials, to specify the principal problems that affect each building component, present possible solutions to correct each defect, using natural materials and economic tasks, where possible.

This study is focused on the principal elements that compose the building structures in Portugal, including load-bearing walls, wooden floor, roof structures and finishing materials.

The structural failure sequence was described and also the cause/effect connection of pathologies. This study will allow the understanding of the structures systems and consequent reinforcement proposals of traditional buildings. The building under study may be considered as a real scale experimental model.

The building is formed by: limestone, wood, earth mortar, ceramic bricks and lime mortar.

Is also presented the building material's identification/characterization using electronic microscopic test and X ray tests.

It is intended to analyse the architectural solution, the structural solution, the materials, the identification of pathologies and its solutions of ancient buildings in the Portuguese context.

The reinforcement solutions presented in this study privilege the use of materials and techniques similar to the original ones.

1. Introdução

Em Portugal, as principais técnicas de construção tradicionais que fazem uso da terra são a taipa, adobe e o tabique. Estas técnicas caíram em desuso após o aparecimento do betão armado e do tijolo cerâmico [1].

Uma quantidade expressiva de edifícios existentes em Portugal são prédios antigos que muitas vezes revelam uma falta de manutenção ou conservação e a principal razão para este facto é inerente ao custo dos trabalhos de conservação. A causa do aparecimento de patologias prematuramente pode ser devido a erro de construção, erro de projecto, a concepção de construção inadequada, materiais de construção impróprios ou insuficientes, entre outros podendo resultar em colapso parcial ou total das construções. A ocorrência de patologias pode levar ao aparecimento de outras patologias e no limite, os resultados podem gerar um processo de colapsos progressivos [2]. A manutenção regular ou trabalhos de conservação são necessários para evitar a deterioração inesperada da construção [3].

Baseado no conceito de "informar para prevenir", foi lançado um trabalho de investigação na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) com o principal objectivo de consciencializar a população para a urgência de adoptar uma atitude sustentável em todas as actividades da sociedade e, em particular, nas associadas à indústria da construção.

A Terra deve ser encarada como um mega ecossistema complexo e susceptível, cujo equilíbrio requer atenção urgente. Consideramos que as ameaças principais para a sustentabilidade do nosso planeta são, por ordem de importância: a indústria, o comportamento humano e ocorrências naturais (erosão, cheias, fogos florestais, erupções vulcânicas entre outras). Tais ameaças podem estar interligadas de múltiplas formas, a indústria é um agente de grande importância e uma das principais causas da

emissão de CO₂ para a atmosfera. A indústria da construção é parte integrante do vector indústria e é essencialmente para a indústria da construção que este trabalho de investigação se dirige.

Cada material de construção tem associado um custo específico, um consumo de energia e uma quantidade de gases tóxicos liberados para atmosfera resultantes de todas as fases relacionadas com o ciclo de vida do material, tais como a extracção da matéria-prima, transporte, transformação, processo de construção, manutenção, demolição e reciclagem. Vários estudos [4-6] têm focado na temática da estimativa dos valores de diversos parâmetros ambientais.

Nesta linha, este projecto tem-se debruçado em quatro pilares principais, e que são: o uso eficiente da energia, o planeamento urbano sustentável, a gestão eficiente dos recursos hídricos e a construção de habitações com base em materiais e soluções sustentáveis. É no domínio da construção sustentável de habitações que se insere este trabalho apresentado neste artigo, uma construção Portuguesa do início do século XX é usada neste trabalho de pesquisa como um caso de estudo para demonstrar como uma pequena infiltração de água no telhado pode levar a um colapso progressivo do edifício.

Neste estudo é feita uma breve descrição do edifício seguida de uma identificação e caracterização dos materiais de construção. Em particular, um estudo experimental da argamassa estrutural foi feito recorrendo ao microscópio electrónico na Unidade (UTAD). De seguida a sequência cronológica dos colapsos parciais do telhado é apresentada e descrita bem como a relação causa/efeito da patologia que originou o colapso. Entretanto, a análise dessa sequência de colapsos pode fornecer elementos para que se alcancem soluções de madeira mais resistentes para o telhado, bem como o reforço estrutural de reparação das estruturas propostas para edifícios tradicionais no contexto Português, que também são apresentadas neste estudo.

2. Descrição do caso de estudo

Neste trabalho, a construção adoptada como estudo de caso é um edifício do início do século XX (Fig. 2). O edifício está localizado em Portugal continental, na costa da região central, no Município de Figueira da Foz.

A distribuição de espaços é fundamentalmente de cariz funcional, possuindo apenas uma sala principal, uma divisão de apoio e uma arrecadação.

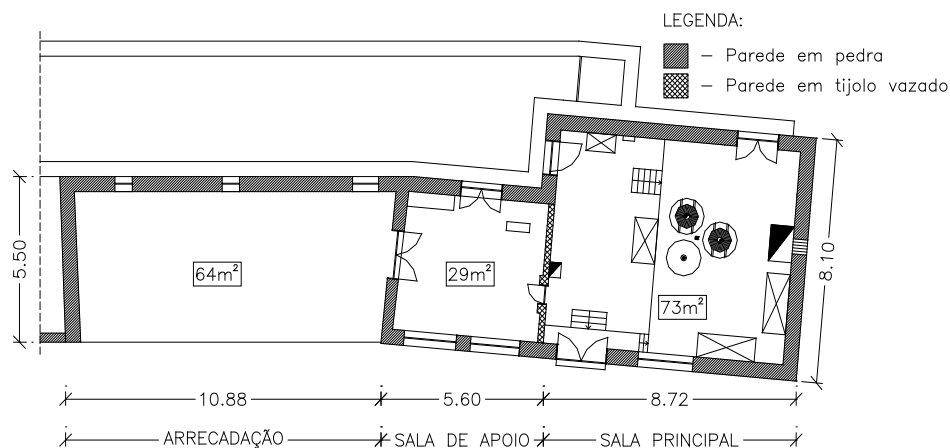


Fig. 1. Planta, 2009 (m)

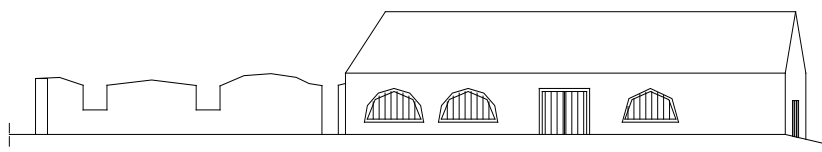


Fig. 2. Alçado, 2009 (m)

3. Identificação e caracterização dos materiais de construção

Para a identificação dos materiais foi efectuada uma campanha de recolha dos materiais constituintes dos elementos do edifício. Os materiais de construção utilizados são: pedra calcária, argamassa estrutural, madeira, tijolos cerâmicos, acabamento de gesso em paredes e telhas cerâmicas.

Como essa região é escassa em pedras, as paredes estruturais (exterior e interior) em alvenaria de pedra foram construídas utilizando pequenas pedras calcárias irregulares (Fig. 3, detalhe I) aglutinadas com uma argamassa estrutural (Fig. 3, detalhe II). A espessura média destas paredes é de 0,40 m.



Fig. 3. Pormenor das paredes exteriores à base de pedra (imagem: A. Murta)

A madeira é também muito utilizada neste edifício. O piso, as madres, as vigas da estrutura do telhado, as vigas sobre as aberturas (janelas e portas) e o pavimento térreo são de madeira. O material de acabamento utilizado na maioria das paredes foi o gesso, na maioria das paredes excluindo as paredes da arrecadação. O revestimento exterior do tecto é em telhas cerâmicas.

A fim de identificar o tipo de argamassa e o tipo de acabamento de gesso e o tipo de madeira foram feitos testes experimentais.

A identificação e caracterização da composição química e mineralógica elementares da argamassa e os materiais de acabamento em gesso foi feita com recurso ao microscópio electrónico (SEM / EDS) e testes de raio-X realizados na unidade por microscopia electrónica da UTAD. Testes semelhantes foram já realizados no âmbito de outros projectos de pesquisa [7-8] para caracterizar os materiais locais disponíveis e utilizados nas construções tradicionais.

Quatro amostras de argamassa (Amostra 1, 2, 3 e 4) foram recolhidas e testadas. Também foi testada uma amostra de pedra calcária e uma amostra de cal hidráulica, uma vez que são os materiais mais comuns utilizados como aglutinantes nos edifícios tradicionais.

Os resultados da composição elementar obtida pelo teste de SEM / EDS são apresentados na Tabela 1. Os resultados da composição mineralógica do teste de raio-X é mostrado na Tabela 2.

Tabela 1. Composição elementar mineralógica resultante da análise em SEM/EDS (%).

| Elemento Químico | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 | Amostra 4 | Calcário | Cal hidráulica |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Oxigénio (O) | 52.01 | 51.44 | 52.07 | 49.06 | 56.06 | 39.85 |
| Sódio (Na) | ---- | ---- | ---- | 0.90 | ---- | ---- |
| Magnésio (Mg) | ---- | ---- | ---- | 0.68 | 2.01 | 0.50 |
| Alumínio (Al) | 6.37 | 6.11 | 8.74 | 6.68 | 3.40 | 0.38 |
| Silício (Si) | 13.84 | 9.45 | 17.48 | 15.01 | 7.42 | ---- |
| Cloro (Cl) | ---- | ---- | ---- | 0.58 | ---- | ---- |
| Potássio (K) | 1.90 | 1.09 | 3.45 | 1.65 | 0.99 | ---- |
| Cálcio (Ca) | 24.92 | 31.17 | 17.36 | 22.51 | 28.01 | 59.26 |
| Ferro (Fe) | 0.96 | 0.74 | 0.90 | 2.94 | 1.40 | ---- |

Tabela 2. Composição elementar mineralógica resultante da análise de raio-X

| Amostra | Composição mineralógica |
|----------------|-----------------------------|
| Amostra 1 | Quartzo, Calcite, Muscovite |
| Amostra 2 | Calcite, Kaolinite, Quartzo |
| Amostra 3 | Calcite, Quartzo |
| Amostra 4 | Calcite, Quartzo, Gesso |
| Calcário | Calcite, Oxido de Cálcio |
| Cal hidráulica | Calcite, Quartzo, Gesso |

As amostras de argamassa 1, 2 e 3 têm composição elementar similar em particular, em termos de produtos químicos (Tabela 1). Com base nestes resultados, podemos considerar que as amostras de argamassa 1, 2 e 3 são uma mistura de terra local com cal e a amostra de argamassa 4 é uma mistura de terra local e cal hidráulica.

Duas amostras de madeira da estrutura do telhado foram experimentalmente identificadas como pertencente à espécie *Pinus pinea*. Uma amostra de madeira do pavimento térreo foi experimentalmente identificada como sendo da espécie *Pinus pinaster*. Estas são duas espécies de árvores locais e abundantes.

Com base na descrição acima de material de construção é possível perceber que a maioria dos materiais utilizados são naturais e locais, o prédio em si é associado a técnicas de construção que exigem uma pequena quantidade de consumo de energia e liberta uma quantidade inexpressiva de gases nocivos para a atmosfera [9]. Consequentemente, temos um exemplo notável de uma solução de construção sustentável.

De acordo com [9], uma estrutura sustentável, como a do presente estudo revela uma redução do consumo de energia e emissões de gases nocivos em mais de 60% quando comparado a uma estrutura tradicional tipo pilar/viga em betão armado.

4. Solução construtiva

De acordo com a Figura 2 há dois tipos de paredes. Existem várias paredes à base de pedra calcária e uma parede à base de tijolo cerâmico vazado.

O telhado em madeira é composto por dois tipos de soluções. Na sala principal e na sala de apoio (Fig. 4) foram adoptadas treliças (Fig. 4, detalhe I), apoiadas directamente nas paredes de alvenaria à base de pedra calcária (Fig. 4, detalhe II), estas treliças suportam vigas principais (Fig. 4, detalhe III), que por sua vez suportam as madres (Fig. 4, detalhe IV). Sobre as madres existem placas de madeira (Fig. 4, detalhe V) para apoio às telhas cerâmicas.

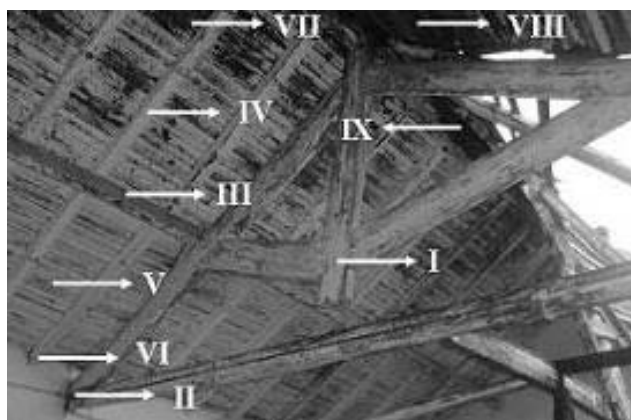


Fig. 4. Soluções da cobertura em treliças de madeira (imagem: A. Murta)

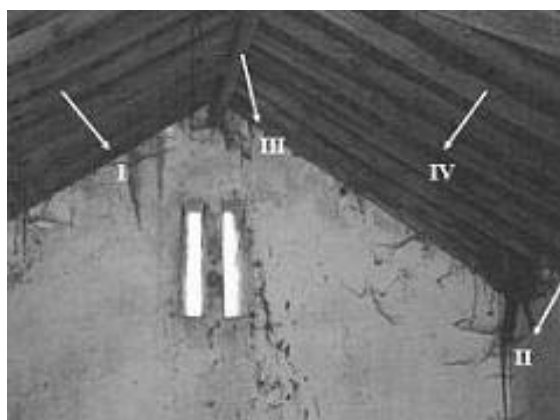


Fig. 5. Soluções da cobertura em vigas de madeira (imagem: A. Murta)

O outro tipo de solução em madeira do telhado só foi aplicada na arrecadação, Figura 5, que inclui vigas de madeira (Fig. 5, detalhe I) apoiadas directamente nas paredes de alvenaria (Fig. 5, detalhe II) e uma viga central de madeira para fecho (Fig. 5, detalhe III). Sobre as vigas de madeira assentam placas de madeira (Fig. 5, detalhe IV) para apoio das telhas cerâmicas.

Estes são notáveis estruturas de madeira tradicional construídas sob os conhecimentos baseados apenas na experiência.

5. Colapsos e patologias

5.1 Sequência das falhas estruturais do telhado

A estrutura de madeira do telhado tem sofrido diversos colapsos parciais ao longo dos últimos nove anos. O primeiro colapso parcial ocorreu em 2000, em que parte do tecto da arrecadação se desmoronou (Fig. 6, detalhe I). É importante sublinhar que os principais elementos estruturais de madeira que são as treliças não ficaram danificados.

A segunda falha estrutural do telhado ocorreu em 2007, resultando na perda completa do tecto do armazém (Fig. 7, detalhe I) e parte da parede de alvenaria frontal (Fig. 7, detalhe II).

Em 2009, a terceira falha estrutural do telhado ocorreu no tecto da sala principal sofreu um colapso parcial (Fig. 6, detalhe I). Neste caso, as madres (Fig. 6, detalhe IV) desabaram na zona do seu apoio da parede de alvenaria (Fig. 6, detalhe VI), gerando uma redistribuição da carga que resultou na queda da viga (Fig. 6, detalhe III). Esta redistribuição de carga foi possível porque o telhado funciona como um sistema estrutural [10].



Fig. 6. 1º Colapso (2000) e c. 3º Colapso (2009) (imagem: A. Murta)

Fig. 7. 2º Colapso (2007) (imagem: A. Murta)

5.2 Patologias

Esta secção é centrada sobre as patologias associadas aos colapsos acima descritos. A Figura 6, detalhe II mostra uma deformação local permanente do tecto da sala principal na ligação com a parede frontal. Algumas telhas estavam também em falta.

Entretanto, a Figura 6 ilustra a condição do telhado da sala principal antes do terceiro colapso estrutural do telhado acima descrito e que ocorreu em 2009 (Fig. 6). Algumas madres e placas de madeiras apresentaram um estado avançado de deterioração na zona de contacto com a parede estrutural. Através da Figura 4, detalhe I, também é possível perceber que esses elementos de madeira tinham uma tonalidade mais escura do que os restantes localizados fora da zona danificada, o que indica um problema de infiltrações. Ao fazer uma análise semelhante, a Figura 4, detalhes VII, VIII e IX, indicam que existiram algumas telhas rachadas ou que o contacto directo entre as telhas e a

madeira não era o mais apropriado, porque pode aumentar a percentagem de humidade indesejável nos elementos estruturais de madeira.

Uma fissura vertical expressiva localizada na junção dos dois panos da parede de alvenaria no armazém (Fig. 8, detalhe I) formou-se pouco antes da ocorrência do segundo colapso do telhado ocorrido em 2007.

6. Soluções de reforço

De forma a evitar o risco de infiltrações, foi proposto um sistema impermeável para o telhado. A solução passa pela utilização de um painel de sub-telha para evitar infiltrações no telhado em caso de fissuras nas telhas cerâmicas e permitir a correcção desse problema depois de um processo de manutenção sem deterioração dos elementos de madeira. Ao mesmo tempo, considerou-se a colocação de elementos de madeira de suporte das telhas, evitando o contacto directo entre as telhas e a estrutura de madeira do telhado principal e, consequentemente, também evita o aumento da humidade de elementos estruturais de madeira que poderia resultar num efeito de retracção ou deterioração da madeira.



Fig. 8. Fissura vertical, 2007 (imagem: A. Murta)

A fim de atenuar a falha estrutural observada na Figura 8, uma solução de reforço estrutural é proposta e apresentada na Figura 9, que inclui um tirante de aço (Fig. 9, detalhe III) e uma viga de reforço (Fig. 9, detalhe II) como elementos estruturais adicionais. Considera-se também que as vigas de madeira devem ter uma superfície de contacto horizontal com a parede. O reforço estrutural da junção das paredes de alvenaria deverá ser executado de acordo com a Figura 10, em que os comprimentos a e b devem ser calculados especificamente.

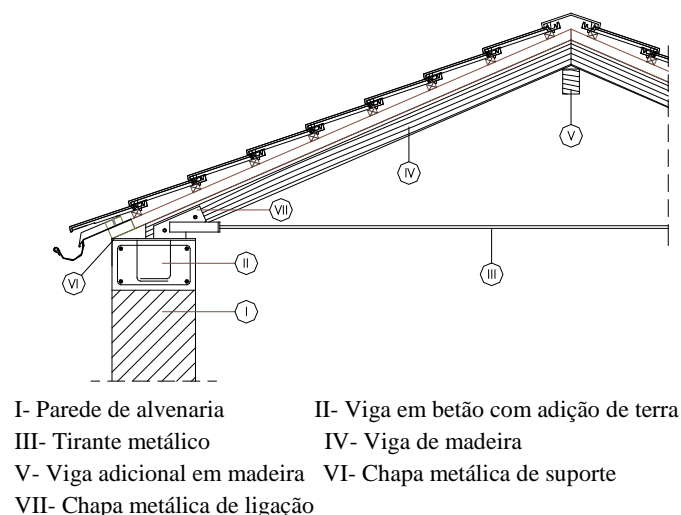


Fig. 9. Solução de reforço na cobertura do armazém

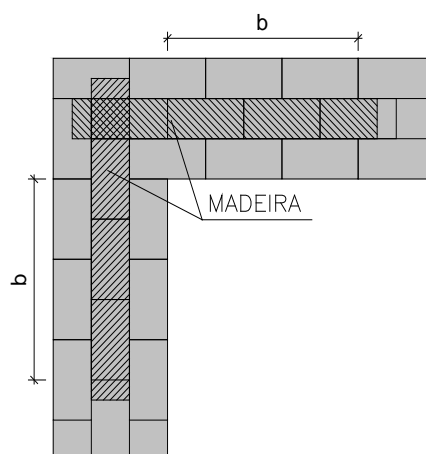


Fig. 10. Reforço em madeira do canto das paredes

De forma a manter o princípio de solução sustentável, os elementos de madeira a adoptar para o reforço devem ser provenientes de reaproveitamentos.

A reconstrução da arrecadação além dos pormenores apresentados, inclui ainda a execução das paredes em blocos de terra compactada com uma adição de cimento a 10%, assentes com argamassa que inclui no seu traço 25% de terra. As fundações serão em pedra proveniente da demolição aglutinadas com argamassa. A cobertura será em vigas de madeira de acordo com o referido anteriormente.

Adoptando este tipo de construção, segundo [9], é possível reduzir o custo de materiais de construção em cerca de 20%, além de diminuir a emissão de gases tóxicos para a atmosfera em mais de 60%, resultando numa diminuição dos efeitos agressivos para o meio ambiente.

7. Conclusões

A solução de arquitectura, a solução de estrutura, a identificação/caracterização do material de construção, a sequência de falhas estruturais e a identificação/caracterização das principais patologias relacionadas com um edifício do início do século XX foram descritas e detalhadas.

A solução adoptada para as paredes de alvenaria estrutural em pedra calcária tem a particularidade de usar pequenas pedras ligadas por uma argamassa estrutural à base de terra, que também é uma solução sustentável e económica.

A sequência de falhas estruturais foi causada basicamente por problemas de infiltrações no telhado que têm vindo a deteriorar a madeira do telhado do edifício. A solução estrutural do telhado em treliças de madeira demonstrou um comportamento melhor do que a solução do tecto com vigas de madeira, pois evita o colapso total sendo consequentemente mais robusto.

Alguns detalhes de reforço foram propostos com base nas deficiências e patologias identificadas no edifício. Estas soluções propostas para a reparação dos elementos também são sustentáveis, uma vez que foi sugerida a aplicação de materiais reutilizados, como elementos de madeira. Esses factos podem facilmente ser extrapolados para a reparação dos edifícios Portugueses tradicionais que são, em geral, amigos do ambiente.

Referencias

- [1] Carvalho J.; Pinto T.; Varum H.; Jesus A.; Lousada J.; Morais J. Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. In: CINPAR 2008. Portugal. 25-28 Junho 2008. editores: Humberto Varum, Francisco Carvalho, Aníbal Costa, Alexandre Bertini, Petr Stepánek. ISBN: 978-989-95695-3-9.
- [2] Pinto J.; Blockley D.; Woodman N. The risk of vulnerable failure. *Journal of Structural Safety*. 2002. n.24, p 107-122.
- [3] Faria, I.; Freitas P.; Pinto T.; Jesus A.; Valente A.; Santos R.; Silva P.; Morais J. Monitorização da estrutura de madeira da cobertura da piscina municipal de Mirandela. In: CINPAR 2008 Portugal. 25-28 Junho 2008. (ed.) H. Varum, F. Carvalho, A. Costa, A. Bertini, P. Stepánek. ISBN: 978-989-95695-3-9.
- [4] KangHee L.; YoungOh C.; Chang-U C.; DaeHee K. The estimation of the functional unit on energy consumption and CO₂ emission concerned with construction of building. 2007. in: SB07 Seoul Conference. South Korea.
- [5] CML2, 2000, www.cmlca.eu - http://www.pre.nl/simapro/impact_assessment_methods.htm#CML2
- [6] Baird G.; Alcorn A.; Haslam P. The energy embodied in building materials.1997. IPENZ Transactions, New Zealand, 1997.
- [7] Pinto, J.; Varum, H.; Cruz, D.; Sousa, D.; Morais, P.; Tavares, P.; Lousada, J.; Silva, P.; Vieira, J. ;2009; Tabique Construction Characterization in Douro North Valley, Portugal: A First Step to Preserve this Architectural Heritage - 2nd WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability (URES'09) - Editores: Manoj Jha, Charles Long, Nikos Mastorakis, Cornelia Aida Bulucea, ISBN 978-960-474-136-6, ISSN 1790-5095, pp. 48-53 - Baltimore, USA, 7-9 Novembro 2009.
- [8] Silva, B.; Correia, J.; Nunes, F.; Tavares, P.; Varum, H.; Pinto, J. ;2009 ; - Earth Construction: Bird Teaching - 2nd WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability (URES'09), Editores: Manoj Jha, Charles Long, Nikos Mastorakis, Cornelia Aida Bulucea, ISBN 978-960-474-136-6, ISSN 1790-5095, pp. 72-78 - Baltimore, USA, 7-9 Novembro 2009.
- [9] Murta A., Teixeira C., Varum H., Bentes I., Pinto J.;2009; Estudo do ganho energético associado à construção de uma habitação unifamiliar com recurso a materiais naturais no contexto português. VIII Seminario Iberoamericano de Construcción com Tierra (VIII SIACOT). Ed.: CRIATIAC – FAU – UNT. Tucumán, Argentina. ISBN EN TRÀMITE. pp. 151-161.
- [10] CEN; 1998; Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.